

*Comentarios*

## EL AVION SUPERSONICO DE TRANSPORTE

P O R

CARLOS SANCHEZ TARIFA

Dr. Ingeniero Aeronáutico  
Jefe de la Sección de Motores de Reacción de I. N. T. A.

Nos encontramos en el umbral de la era del transporte supersónico de aviación. El "Concorde", que proyectan y fabrican en conjunto Inglaterra y Francia, efectuará sus primeros vuelos en 1966, y entrará en servicio en las líneas aéreas en 1970. A su vez, los Estados Unidos se esfuerzan en recuperar su retraso inicial, y anuncian para este año el comienzo del proyecto y fabricación de su avión supersónico comercial, que realizará sus primeros vuelos en 1967, y entrará en servicio en 1972.

Resulta curioso que a pesar de la prisa frenética con que anglo-franceses y americanos intentan poner en servicio sus aviones supersónicos, la llegada de los mismos sea contemplada con cierto temor por las líneas aéreas, que apenas han comenzado a recuperarse del enorme esfuerzo económico que supuso la entrada en servicio de los "jets" subsónicos, y que aún no han acabado de transformar su material. Por otra parte, existe en ciertos sectores aeronáuticos una fuerte corriente de oposición contra la llegada, que estiman prematura, de los aviones supersónicos, citándose que el enorme esfuerzo económico que ello exige estaría mucho mejor aplicado al desarrollo de sistemas automáticos de aterrizaje y a la consecución de una mayor seguridad del vuelo.

No obstante, véase o no con agrado, la entrada en servicio de la aviación supersónica comercial, su próxima llegada es un hecho incontrovertible.

Cuando el 29 de noviembre de 1962, el Ministro de Aviación del Reino Unido y el embajador francés firmaron en Londres el acuerdo para el proyecto y fabricación del "Concorde", se puso en marcha un proceso que es por completo irreversible.

Desde hacía varios años se venían estudiando los problemas del vuelo supersónico comercial, y se llevaron a cabo numerosos estudios y anteproyectos de aviones, pero no se esperaba una acción tan rápida de ningún país europeo.

El acuerdo anglo-francés, destinado a conseguir un adelanto importante sobre los demás países, y muy especialmente sobre los Estados Unidos, sorprendió a los americanos. Por primera vez se encontraron con que sus grandes empresas aeronáuticas no podían o no querían iniciar por sí mismas la construcción de aviones supersónicos de transporte a causa del tremendo coste de su desarrollo y del riesgo financiero de la operación, ya que todas ellas habían sufrido pérdidas con los reactores comerciales subsónicos.

A partir de la firma del acuerdo anglo-francés, se produjo una fuerte corriente de opinión en los Estados Unidos, propugnando la construcción a toda costa de un avión que superase al "Concorde", y si fuera posible, que estuviese terminado antes que él. Razones de prestigio y económicas movieron al Gobierno americano a financiar el proyecto, poniéndolo bajo la dirección del NASA y de la FAA, esforzándose desde entonces en superar el retraso inicial.

De la U.R.S.S. es poco lo publicado sobre el desarrollo de un avión supersónico comercial. Según noticias de procedencia americana las compañías Antonov y Tupolev, trabajando en colaboración, están desarrollando un avión supersónico de Mach 2,2, es decir, análogo al proyecto anglo-francés.

CUADRO 1. — Principales características y actuaciones del "Concorde".

Envergadura .....	23,5 m.
Longitud .....	51,0 m.
Velocidad máxima .....	2.350 Km./h. (Mach 2,2 a 20.000 m.).
Radio de acción .....	6.000 Km. (versión inglesa de gran radio de acción).
	4.500 Km. (versión francesa de mediano radio de acción).
Peso .....	113.000 Kg. (peso en despegue) la versión inglesa.
	90.000 Kg. (peso en despegue) la versión francesa.
Capacidad de carga .....	100 pasajeros (ambas versiones).

*Nota.* — Posiblemente no se construirá más que la versión de gran radio de acción para ambos países. El peso máximo del avión ha crecido a partir de las primeras estimaciones, siendo ya de 127.000 Kg.

#### El proyecto anglo-francés.

El "Concorde" está siendo proyectado y construido en colaboración por la British Aircraft Corporation y la Sud Aviation. La financiación del proyecto es por cuenta, casi en su totalidad, de los gobiernos inglés y francés a partes iguales, aunque las compañías constructoras y las compañías aéreas BOAC y Air France correrán con una pequeña parte de los gastos. El coste total del proyecto y construcción del prototipo y del utillaje para la serie se ha estimado estará comprendido entre 27.000 y 29.000 millones de pesetas.

El "Concorde" es un avión de ala en delta de geometría fija, destinado a volar a una velocidad de crucero correspondiente a Mach 2,2 (véase cuadro 1), y que irá propulsado por cuatro turbo-reactores Bristol Olympus con post-combustión. El avión será construido casi en su totalidad con aleaciones de aluminio (Hidrominium R-58), aunque en las partes más calientes del avión se utilizará localmente titanio.

Se han efectuado numerosos estudios sobre la velocidad más conveniente para un avión supersónico de transporte. Atendiendo sólo a la economía de vuelo, es decir, prescindiendo de las dificultades de desarrollo, los estudios han mostrado que a partir de  $M = 1,5$ , conviene volar al mayor número de Mach posible (fig. 1.<sup>a</sup>). Por otra parte, al tener en cuenta los problemas de proyecto y desarrollo se llegó a la conclusión de que dos zonas de velocidades eran las que ofrecían mejores pers-

pectivas: la región próxima a Mach 2 y la zona de Mach 3.

La región de Mach 2 corresponde a la máxima velocidad admisible con aviones de aleaciones

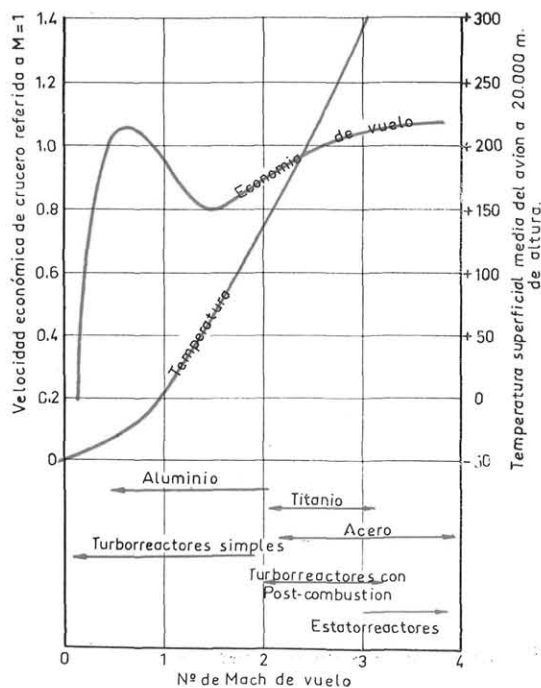


Fig. 1.<sup>a</sup> — Velocidad económica de vuelo, calentamiento estructural, materiales y sistemas de propulsión apropiados para vuelo supersónico en función del número de Mach.

de aluminio (fig. 1.<sup>a</sup>). En esta zona se dispone, además, de la experiencia obtenida con los aviones supersónicos actuales de tipo militar (B-58, por ejemplo). Así, pues, un avión de esta clase no exige un esfuerzo técnico desproporcionado con las posibilidades actuales, pero en su contrapartida, hay que señalar que no podría ser desarrollado posteriormente, y que, salvo en etapas largas, no se conseguirá un aumento muy grande de la velocidad media aeropuerto-aeropuerto en comparación con la de los reactores subsónicos actuales (fig. 2.<sup>a</sup>).

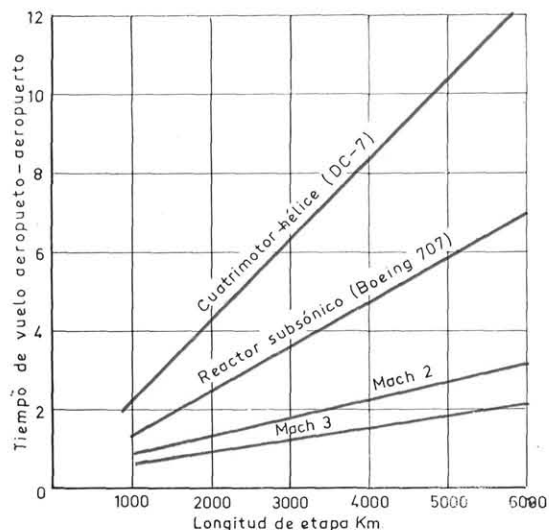


Fig. 2.<sup>a</sup> — Tiempos de vuelo aeropuerto-aeropuerto para vuelo supersónico, comparado con los tiempos empleados actualmente por los aviones "jets" subsónicos y por los aviones con motores alternativos.

Por el contrario, el avión de Mach 3 exigiría un enorme esfuerzo técnico y económico para su desarrollo, pero resulta más atrayente en cuanto a su utilización y permitiría su ulterior desarrollo sin limitaciones. Este avión habría de ser totalmente construido de acero o titanio, y su sistema propulsor más conveniente estaría constituido por turbo reactores de doble flujo con postcombustión, con geometría variable en las toberas de entrada y salida.

El proyecto anglo-francés está en el límite superior de la zona de Mach 2. Se eligió la solución más conservadora, y aunque su coste es muy elevado, se ha estimado que no llega al 10 por 100 del que sería necesario para el desarrollo de un avión de Mach 3.

#### *El avión supersónico americano.*

La firma del acuerdo anglo-francés produjo el efecto de acelerar enormemente el esfuerzo americano para la consecución del avión supersónico.

Tras diversos estudios, el Gobierno decidió financiar hasta un 75 por 100 del coste del proyecto, dejando el 25 por 100 restante para las compañías fabricantes del grupo motopropulsor y del avión. No obstante, la tendencia actual es que el Gobierno financiará casi totalmente el proyecto, con alguna contribución de las líneas aéreas y de las compañías fabricantes.

La Federal Aviation Agency (FAA) fué designada directora del programa del avión supersónico, actuando el NASA como consultante técnico del mismo.

Se establecieron unas condiciones o normas para el proyecto del avión, que en gran parte fueron forzadas por la competencia del "Concorde". Las condiciones más importantes fueron las siguientes:

Velocidad superior a Mach 2,2 (es decir, superior a la del "Concorde").

Número de pasajeros, 125 (25 más que el "Concorde").

Radio de acción, de 1.800 a 6.000 Km. en vuelo supersónico, y de 350 a 1.800 Km. de vuelo subsónico.

Longitudes de despegue y toma de tierra no superiores a 2.900 y 2.100 m., respectivamente.

Vida del avión, de 30.000 a 50.000 horas.

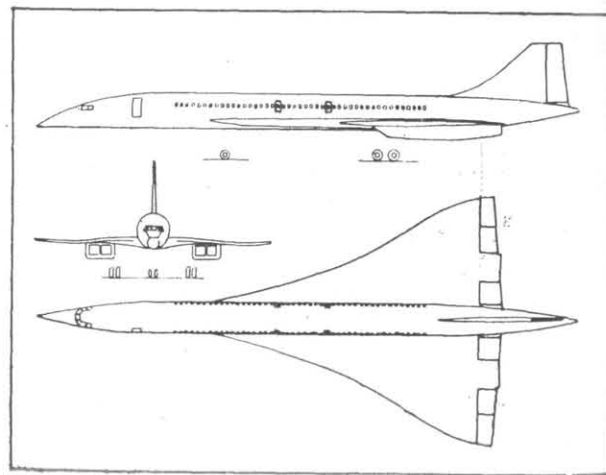


Fig. 3.<sup>a</sup> — Siluetas del avión "Concorde".

Se estableció como plazo hasta el 24 de enero de este año para que las compañías productoras de aviones y motores presentaran sus anteproyectos. Estas propuestas serán estudiadas por las líneas aéreas, el NASA y la FAA, y el día 1 de mayo de este año la FAA anunciará el ganador o ganadores del concurso.

Según parece, la Boeing, la Lockheed y la North American competirán para la célula y la Pratt and Whitney, General Electric y la Wright para el motor.

La FAA no ha fijado para la velocidad del avión más que la condición de que sea superior a Mach 2,2 a 20.000 m. Al principio existía una fuerte corriente de opinión, en especial del NASA, favoreciendo el avión de Mach 3. No obstante, los primeros estudios están demostrando el terrible coste de este avión, y han puesto de manifiesto las enormes dificultades técnicas de todo orden que habrían de ser resueltas.

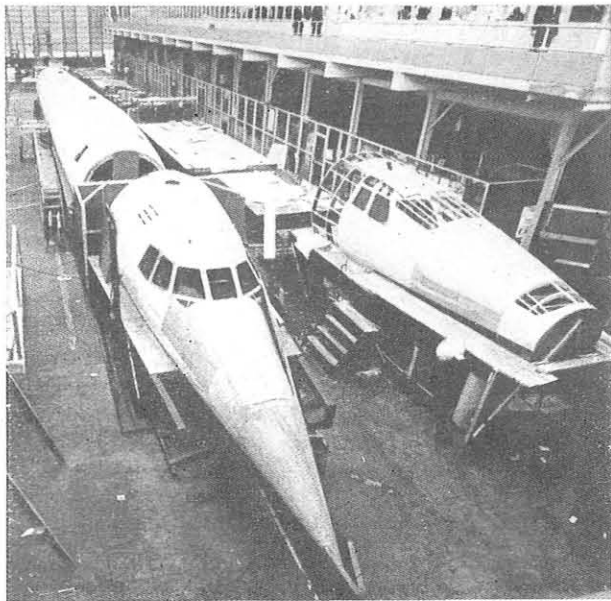


Fig. 4.<sup>a</sup> — Maqueta del "Concorde", que se está construyendo en los talleres de Filton de la British Aircraft Corporation. La parte delantera del fuselaje podrá ser bajada hidráulicamente para mejorar la visibilidad del piloto durante las maniobras de tierra. Las ventanas frontales de observación de la cabina de mando irán protegidas con pantallas durante el vuelo supersónico.

La maniobra anglo-francesa ha puesto a los Estados Unidos en una posición difícil. Para compensar el retraso en la puesta en servicio de los aviones, desean fabricar un avión más rápido que el "Concorde", pero al ser demasiado costoso y difícil el avión de Mach 3, no parece que les quede otra opción que limitarse a proyectar un avión con un número de Mach ligeramente mayor, del orden de 2,5. No obstante, esto les obligará a que el avión sea totalmente de titanio, y su desarrollo será considerablemente más caro que el del "Concorde".

Se ha estimado que dicho coste no será inferior a unos 60.000 millones de pesetas, habiendo quien opina que dicho coste alcanzará una cifra doble de la señalada. A su vez, el precio de los aviones de serie será de unos 1.500 millones de pesetas.

Se están considerando diversas configuraciones para el avión (fig. 5.<sup>a</sup>), unas, de geometría fija, y otras, de geometría variable, éstas últimas con

objeto de que el avión pueda tener al mismo tiempo buenas performances supersónicas y subsónicas, lo que se conseguiría modificando en vuelo la flecha del ala.

También se ha discutido considerablemente sobre el sistema motopropulsor más adecuado. Los únicos turborreactores americanos actuales aptos para el vuelo a Mach 2-3, son el Pratt and Whitney J-58 y el General Electric J-93, pero no se les ha considerado apropiados por su consumo demasiado elevado para un avión civil o por no proporcionar empuje suficiente. Se estima que la solución más ventajosa es la de un turborreactor de doble flujo, con post-combustión de unos 18.000-20.000 kilogramos de empuje máximo. Este tipo de motor proporciona unas condiciones excelentes de funcionamiento, tanto en vuelo subsónico (doble flujo sin post-combustión) como en supersónico (con post-combustión en el flujo secundario o en los dos flujos).

#### *Algunos problemas del vuelo supersónico en la aviación comercial.*

El vuelo supersónico presenta muchos y muy difíciles problemas, que han sido y que están siendo estudiados. Estos problemas conciernen, por una parte, a la tecnología de aviones y sistemas motopropulsores supersónicos, existiendo, por otra parte, numerosos problemas de tráfico y navegación. Los problemas tecnológicos de aviones y motores, por su gran extensión, los dejaremos para otra ocasión, limitándonos a comentar algunos problemas típicos del tráfico y navegación de los aviones supersónicos de transporte.

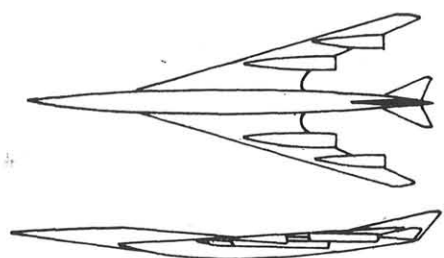
#### *Los "Bangs" sónicos.*

Quizá no haya problema que se presente más difícil para la entrada en servicio de los aviones comerciales supersónicos que el de las ondas de presión o "bangs" que origina un avión en vuelo supersónico.

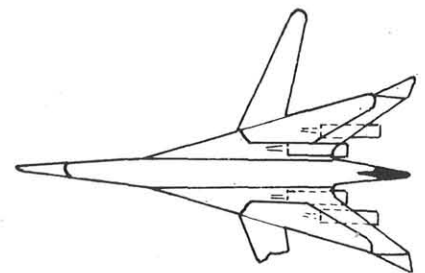
El complejo sistema de ondas de choque que produce un avión en vuelo supersónico, se reduce a cierta distancia del mismo a dos ondas únicas que alcanzan el suelo y producen dos bruscos saltos de presión, los famosos "bangs", que si son muy intensos pueden llegar a producir roturas de cristales y otros daños a los edificios.

La intensidad de los "bangs" se mide por el salto de presión. Por encima de 1 Kg./m.<sup>2</sup> el sonido despertaría a mucha gente, y por encima de 10 kilogramos/m.<sup>2</sup> se producen roturas de cristales.

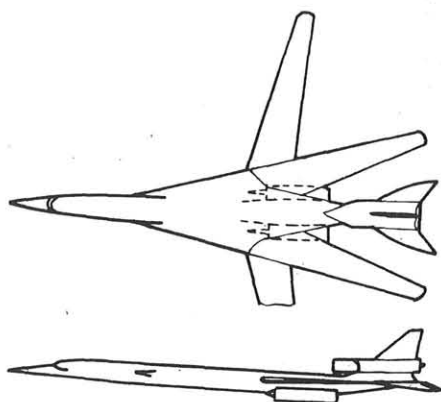
No existe acuerdo en absoluto sobre el nivel tolerable de los "bangs". Las opiniones varían desde los que dicen que hay que prohibir totalmente el



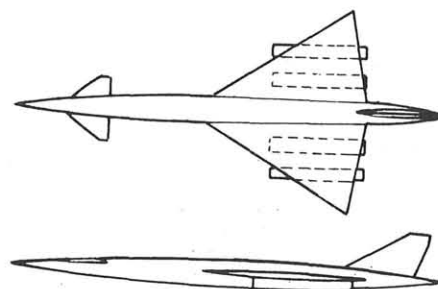
**SCAT 4**  
Geometría fija. Fuselaje con estrechamiento central. Motores encima de las alas



**SCAT 15**  
Flecha variable. Motores bajo el ala. Cuadri-reactor



**SCAT 16**  
Flecha variable. Tri-reactor



**SCAT 17**  
Alas fijas. Inspirado en el B-70

Fig. 5.<sup>a</sup> — Diversos esquemas de los proyectos SCAT (Supersonic Air Transport), actualmente en periodo de estudio y evaluación en los Estados Unidos.

vuelo supersónico sobre áreas habitadas hasta los que dicen que el público se acostumbrará a los "bangs", y que pueden admitirse intensidades hasta unos 7 a 8 Kg./m.<sup>2</sup>.

La intensidad de los "bangs" apenas depende de la velocidad, entre los números de Mach 2 y 3, dependiendo mucho de la altura de vuelo y también en gran manera del peso del avión. Esto obliga a que el vuelo supersónico haya de efectuarse forzosamente a muy elevadas alturas (fig. 6.<sup>a</sup>), y a limitar el peso máximo de los aviones.

Esto último es una limitación en extremo perjudicial desde el punto de vista económico, ya que

no habría grandes dificultades estructurales o propulsivas para construir aviones mucho mayores de los que se están proyectando, los cuales tendrían un rendimiento económico considerablemente más elevado.

#### Tráfico y navegación.

Por razones de economía de vuelo, por las características técnicas de los aviones supersónicos y motores y por las limitaciones de los "bangs" sónicos, el perfil más conveniente para en vuelo transoceánico es tal como el mostrado en la figura 7.<sup>a</sup>.

A partir del despegue, los aviones efectuarán una subida subsónica hasta unos 10.000 metros,

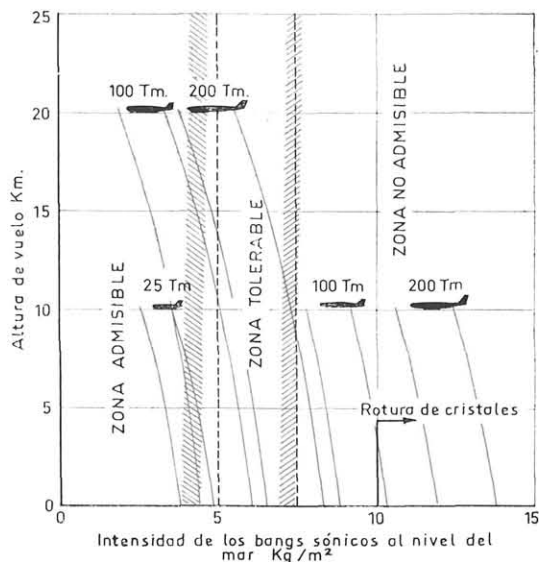


Fig. 6.a — Intensidad de los "bangs" sónicos al nivel del mar para aviones de pesos diferentes y para distintas alturas de vuelo. Los valores mostrados corresponden, aproximadamente, a velocidades de vuelo comprendidas entre los números de Mach 2 y 3.

en donde comenzarán una aceleración en subida hasta alcanzar el número de Mach de crucero a unos 20.000 metros de altura. Es notable que en esta subida y aceleración el avión consumirá, aproximadamente, un tercio de sus reservas de combustibles.

El crucero óptimo se efectúa a número de Mach constante, subiendo ligeramente hasta alcanzar al fin del vuelo de crucero unos 22.000 m. de altura. En la última parte del trayecto se efectuará la deceleración y descenso con espera subsónica.

Por la rapidez del vuelo y a causa del cambio continuo de altura impuesto por el vuelo óptimo de crucero, los aviones supersónicos requerirán sistemas de navegación más precisos que los empleados corrientemente en el momento actual. Se ha estimado que una combinación de los sistemas Doppler y de inercia, sería suficiente para resolver los problemas de navegación que plantea el vuelo supersónico.

En las zonas de aproximación a los aeropuertos la aviación supersónica ha de exigir una mayor rapidez y precisión en las instrucciones de la central de control del tráfico, pero es de esperar que cuando los aviones supersónicos entren en servicio ya estén en funcionamiento sistemas automáticos del control de tráfico aéreo.

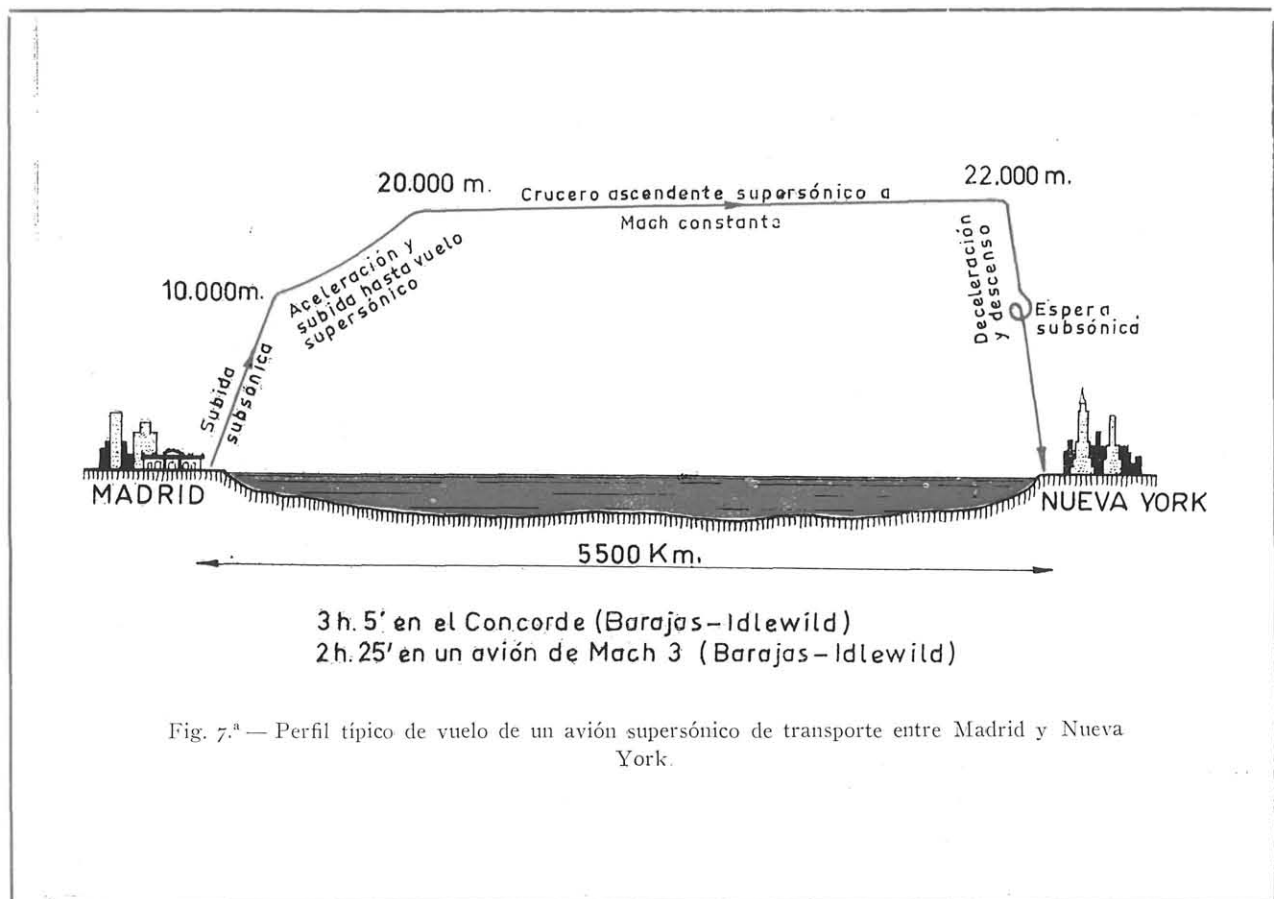


Fig. 7.a — Perfil típico de vuelo de un avión supersónico de transporte entre Madrid y Nueva York.



## Radiaciones.

Los aviones supersónicos de transporte, por razones de economía de vuelo y para disminuir los "bangs" supersónicos, habrán de efectuar sus vuelos de crucero a alturas superiores a los 20.000 metros.

A estas alturas la intensidad de las radiaciones cósmicas (galácticas) y protónicas (solares) son del orden de unas tres veces mayores que las existentes a las alturas de vuelo de crucero de los "jets" subsónicos (10.000-12.000 metros). No obstante, ya que generalmente los efectos de las radiaciones son despreciables a estas últimas alturas y, por otra parte, los vuelos supersónicos serán mucho más cortos, no parece que las radiaciones que existen nor-

malmente a 20.000-24.000 metros de altura hayan de causar preocupación alguna.

Ahora bien, queda el problema de las lluvias de protones que se producen durante las tormentas solares, en las cuales los niveles de radiación aumentan en unas pocas horas hasta valores diez veces superiores al normal. Estas tormentas solares implicarán que haya que evitar en los vuelos supersónicos las latitudes altas, en las que las radiaciones son más intensas, mientras no existe un sistema que permita detectarlas con antelación suficiente; ya que no es factible obligar a reducir la altura de crucero a los aviones supersónicos en el caso de una repentina e imprevista tormenta solar.

## RESERVAS DE ENTREGA DE LOS AVIONES SUPERSONICOS

### Transporte U. S.

1. Trans World Airlines.
2. Pan American Airways.
3. Trans World Airlines.
4. Pan American Airways.
5. Alitalia.
6. Trans World Airlines
7. Pan American Airways.
8. American Airlines.
9. Alitalia.
10. El Al Israel Airlines.
11. Trans World Airlines.
12. Pan American Airways.
13. American Airlines.
14. El Al Israel Airlines.
15. Trans World Airlines.
16. Pan American Airways.
17. European Foreign Flag.
18. Northwest Airlines.
19. Japan Air Lines.
20. American Airlines.
21. Alitalia.
22. Northwest Airlines.
23. Japan Air Lines.
24. European Foreign Flag.
25. European Foreign Flag.
26. Trans World Airlines.
27. Pan American Airways.
28. Pacific Foreign Flag.
29. Northwest Airlines.
30. Japan Air Lines.
31. American Airlines.
32. Pan American Airways.
33. Trans World Airlines.
34. Pacific Foreign Flag.
35. European Foreign Flag.

36. European Foreign Flag.
37. European Foreign Flag.
38. U.S. Domestic.
39. U.S. Domestic.
40. American Airlines.
41. European Foreign Flag.
42. European Foreign Flag.
43. Pan American Airways.
44. U.S. Domestic.
45. U.S. Domestic.
46. Japan Air Lines.
47. Trans World Airlines.
48. American Airlines.
49. Pacific Foreign Flag.
50. Pan American Airways.
51. European Foreign Flag.
52. Trans World Airlines.
53. U.S. Domestic.
54. Pan American Airways.
55. Trans World Airlines.
56. Northwest Airlines.
57. Japan Air Lines.
58. Pan American Airways.
59. U.S. Domestic.
60. European Foreign Flag.
61. Pan American Airways.
62. European Foreign Flag.
63. U.S. Domestic.
64. Pan American Airways.
65. U.S. Domestic.
66. European Foreign Flag.
67. Pan American Airways.
68. U.S. Domestic.
69. Pacific Foreign Flag.
70. Pan American Airways.

### «Concorde»

1. Air France.
2. British Overseas Airways.
3. Pan American Airways.
4. Air France.
5. British Overseas Airways.
6. Pan American Airways.
7. Air France.
8. British Overseas Airways.
9. Pan American Airways.
10. Air France.
11. British Overseas Airways.
12. Pan American Airways.
13. Air France.
14. British Overseas Airways.
15. Pan American Airways.
16. Air France.
17. British Overseas Airways.
18. Pan American Airways.
19. Panair do Brasil.
20. Continental Air Lines.
21. American Airlines.
22. Trans World Airlines.
23. Continental Air Lines.
24. (Sin asignar).
25. American Airlines.
26. Continental Air Lines.
27. American Airlines.
- 28-31. (Sin asignar).
32. Trans World Airways.
33. American Airlines.
34. Trans World Airways.
35. Middle East Airlines.
- 36-37. (Sin asignar).
38. Trans World Airways.
- 39-48. (Sin asignar).
49. Middle East Airlines.

### Conclusiones.

Pese a la fuerte oposición existente en diversos sectores y a pesar de los muchos y difíciles problemas técnicos que hay que resolver, nos encontramos en el umbral de la era del transporte supersónico.

Por todos ha de reconocerse que el avión supersónico de transporte, capaz de transportar más de un centenar de pasajeros a velocidades superiores a la de una bala de cañón, constituirá un espléndido jalón en el avance de la técnica aeronáutica, con la novedad de que esta vez se procederá a la inversa, es decir, precediendo el desarrollo de la aviación civil al de la aviación militar.

Una prueba incontrovertible de que el avión supersónico es ya una realidad, es que ya están reservadas las primeras 120 entregas, habiéndose incluso pagado parte del precio de dichos aviones. Esto también es una prueba de la áspera competencia existente entre las líneas aéreas, que luchan ya por no quedarse atrás en la carrera de la aviación supersónica, ya que se prevé un ritmo de entregas más bien lento (de dos a tres aviones por mes).

El día 14 de octubre del año pasado, la TWA entregó un cheque de 600.000 dólares solicitando el primer avión supersónico que se entregase junto con otros cinco más. Indicó que se conformaría con un número de Mach 2,2, aunque estimaba preferible mayor velocidad. El mismo día, sólo horas después, la Pan American entregó un pago por adelantado de 1,5 millones de dólares para quince aviones,

protestando de que no se le entregase el primer avión. Esta misma compañía había encargado en el mes de junio seis aviones "Concorde", decisión que motivó un cúmulo de protestas en los Estados Unidos y que también fué la causa de que se acelerasen enormemente todos las gestiones y estudios previos para el desarrollo del avión supersónico americano.

A partir de estas órdenes, casi todas las más importantes compañías de aviación se han apresurado a efectuar sus propias órdenes de reserva (cuadro 2), de un material que aún no ha salido de los tableros de dibujo, pero que les será indispensable para no rezagarse en la dura competencia que incesantemente mantiene la aviación comercial.

---

### REFERENCIAS

AVIATION WEEK: Diversos números.

INTERAVIA: Números 10, 1961 y 10, 1963.

AEROPLANE AND COMMERCIAL AVIATION NEWS: Diversos números.

FLIGHT: Diversos números.

AVIATION MAGAZINE: Número 379, 1963.

AIR ET COSMOS: Diversos números.

